

sin 10/053, 666  
547

Requested Patent: DE19536675C1

Title: APPARATUS FOR MAKING COMPONENTS OF LARGE AREA BY RTM ;

Abstracted Patent: US6257858 ;

Publication Date: 2001-07-10 ;

Inventor(s):

PABSCH ARNO (DE); SIGLE CHRISTOF (DE); PIENING MATTHIAS (DE) ;

Applicant(s): DEUTSCH ZENTR LUFT \_RAUMFAHRT (US) ;

Application Number: US19980043977 19980619 ;

Priority Number(s): DE19951036675 19950930; WO1996EP04213 19960926 ;

IPC Classification: B29C70/44 ;

Equivalents:

EP0853548 (WO9712754), B1, ES2163655T, JP11501880T, JP3040490B2,  
~~WO9712754-~~

#### ABSTRACT:

In a process for producing large-surface structural elements from fiber-reinforced composite materials by resin transfer moulding, a mold (2) that can be evacuated has a dimensionally stable part (4) and an elastically deformable part (6). The mold (2) has connections for injecting a resin mixture and connections to a pressure sink. A fibrous fabric (12) is set into the mold (2). Elongated pipes having a large supporting surface (22) and a cavity (24) that extends in the longitudinal direction of the pipes above the supporting surface (22) are provided on the surface of the fibrous fabric (12) opposite to the dimensionally stable mold part (4) to inject the resin mixture and to ensure the connection with the pressure sink. The supporting surface (22) of the pipes has a narrow slit (26) which extends substantially over the whole length of the pipes and which is in communication over its whole length with the cavity (24). At least one end of the pipes extends outwards through the edges of the elastically deformable and dimensionally stable mold parts and is linked to the resin supply pipe or to the pressure sink. The mold (2) is evacuated down to an inner pressure of less than 50 hPa



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift  
⑩ DE 195 36 675 C 1

⑤ Int. Cl.<sup>8</sup>:  
B 29 C 70/42

⑳ Aktenzeichen: 195 36 675.1-16  
㉑ Anmeldetag: 30. 9. 95  
㉒ Offenlegungstag: —  
㉓ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 20. 2. 97

DE 195 36 675 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉔ Patentinhaber:

Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt  
e.V., 53175 Bonn, DE

㉕ Vertreter:

Einsel, M., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 38102  
Braunschweig

㉖ Erfinder:

Pabsch, Arno, 38110 Braunschweig, DE; Sigle,  
Christof, 38104 Braunschweig, DE; Piening, Matthias,  
38110 Braunschweig, DE

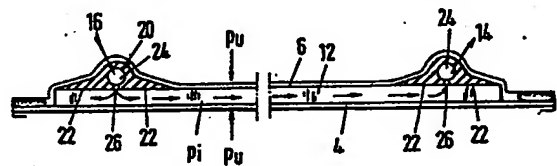
㉗ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-Z: »Kunststoff-Rundschau«, H. 9/1970, S. 475-479;  
DE-Z: »Kunststoffe«, H. 12/1984, S. 797-803;

㉘ Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von großflächigen Bauelementen nach dem RTM-Verfahren

㉙ Bei einem Verfahren zur Herstellung von großflächigen Bauelementen aus Faserverbundwerkstoffen nach dem RTM-Verfahren ist eine evakuierbare Form (2) mit einem formstabilen Formteil (4) und einem elastisch verformbaren Formteil (8) vorgesehen. Die Form (2) ist mit Anschlüssen für die Injektion des Harzgemisches und für eine Drucksenke versehen. In die Form (2) wird eine Fasergelegegarnitur (12) gelegt.

Für die Injektion des Harzgemisches und den Anschluß an die Drucksenke sind auf der dem formbeständigen Formteil (4) gegenüberliegenden Oberfläche der Fasergelegegarnitur (12) aufliegende Leitungselemente vorgesehen, die eine große Längserstreckung und eine breitflächige Auflagefläche (22) haben, oberhalb der Auflagefläche (22) mit einem sich in Längsrichtung der Elemente erstreckenden Hohlraum (24) versehen sind und in der Auflagefläche mit einem sich im wesentlichen über die gesamte Länge des Leitungselementes erstreckenden schmalen Schlitz (26) versehen sind, der über seine Länge mit dem Hohlraum (24) verbunden ist. Die Leitungselemente sind mit wenigstens einem Ende zwischen den Rändern des elastisch verformbaren und des formstabilen Formteiles hindurch nach außen geführt und mit der Harzleitung bzw. der Drucksenke verbunden. Die Form (2) wird auf einen Innendruck von weniger als 50 hPa evakuiert.



DE 195 36 675 C 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung von großflächigen Bauelementen aus Faserverbundwerkstoffen durch Injektion eines Harzgemisches in eine Form mit zusammenwirkenden Formelementen, zwischen die vorgeformte Faserlagen eingelegt sind, von denen das eine Formelement elastisch verformbar und das andere Formelement formbeständig ausgebildet ist und die beiden Formelemente an ihren Rändern vakuumdicht verbindbar sind, die Form mit Anschlüssen für Mittel zur Injektion des Harzgemisches und eine Drucksenke zum Absenken des Innendruckes des Formraumes unter den Atmosphärendruck versehen ist, bei dem auf die geschlossene Form in einem Druckbehälter allseitig ein über dem Atmosphärendruck liegender Außendruck aufgebracht wird, und in die Form das Harzgemisch mit einem Druck injiziert und bis zum Aushärten auf einem Druck gehalten wird, der um eine den Faservolumengehalt des Bauelementes bestimmende Differenz niedriger ist als der auf die Form wirkende Außendruck.

Derartige Verfahren werden auch RTM (Resin Transfer Molding)-Verfahren genannt.

In der Zeitschrift "Kunststoffe" 54 (1964) Heft 12 S. 797 bis 803 ist eine Form beschrieben, bei der die Anschlüsse für die Mittel zur Injektion des Harzgemisches und die Drucksenke in dem formstabilen Formteil angeordnet sind, und zwar an gegenüberliegenden Rändern des formstabilen Formteils, wobei auf der Innenseite dieses Formteils jeweils längliche Rillen angeordnet sind, in denen die Anschlüsse münden und die zur gleichmäßigen Querverteilung des Harzes zu beiden Seiten der Anschlüsse dienen. Das Harz soll somit durch die Rille nach beiden Seiten des Anschlusses verteilt die Faserlagen in einer zur Rille parallelen Laufrichtung durchströmen. Diese Rillen bilden sich auf der Oberfläche als linienförmige Vorsprünge ab, die abgearbeitet werden müssen.

Aus der Zeitschrift "Kunststoff-Rundschau" Heft 9 (September 1970) S. 475 bis 479 ist für das Arbeiten mit Unterdruck in der Form ein Druck von 200 Torr (entsprechend 270 hPa) als untere Grenze angegeben mit der Begründung, daß es bei noch niedrigerem Druck zu einem Schäumen des Harzes kommt und zu einer starken Blasenbildung im Laminat.

Aufgabe der Erfindung ist es, die bekannte Vorrichtung und das bekannte Verfahren so weiter zu entwickeln, daß auch sehr große Bauelemente, beispielsweise Flügelschalen für Luftfahrzeuge mit großer Längserstreckung bis 25 m und mehr und großen Faservolumen herstellbar sind, auch solche, die auf ihrer Innenseite mit rippenartigen Vorsprüngen versehen sind, beispielsweise Stringern und Rippenträgern.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung bei einer Vorrichtung dadurch gelöst, daß für die Injektion des Harzgemisches und den Anschluß an die Drucksenke auf der dem formbeständigen Formteil gegenüberliegenden Oberfläche der Faserlegegarnitur aufliegende Leitungselemente vorgesehen sind, die eine große Längserstreckung und eine breitflächige Auflagefläche haben, oberhalb der Auflagefläche mit einem sich in Längsrichtung der Leitungselemente erstreckenden Hohlraum versehen sind und in der Auflagefläche mit einem sich im wesentlichen über die gesamte Länge des Leitungselementes erstreckenden schmalen Schlitz versehen sind, der über seine Länge mit dem Hohlraum verbunden ist.

Bei einem Verfahren wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß das Harzgemisch auf der dem formbeständigen Formteil gegenüberliegenden Oberfläche der Faserlegegarnitur mittels eines Linienangusses aus einem längserstreckten Schlitz in einem Leitungselement injiziert wird und durch einen längserstreckten Schlitz in einem anderen Leitungselement ein Anschluß an die Drucksenke gegeben ist.

Bevorzugte Ausgestaltungen sind Gegenstand der weiteren Ansprüche.

Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht darin, daß das die äußere Oberfläche bestimmende formstabile Formteil ohne Anschlüsse für die Mittel zur Injektion des Harzgemisches einerseits und die Drucksenke andererseits ausgebildet sein können, so daß sich keine Angüsse abbilden und daß auch das elastisch verformbare Formteil ohne solche Anschlüsse ausgebildet werden kann. Die Leitungselemente sind nach dem Aushärten des Harzgemisches über schmale Stege mit dem Bauteil verbunden, die beim Abnehmen der Leitungselemente in unmittelbarer Nähe der Oberfläche des Bauelementes abgerissen werden.

Die Erfindung ist in der Zeichnung beispielsweise veranschaulicht und im nachstehenden anhand der Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 das Prinzip des Verfahrens anhand eines Querschnittes durch einen Autoklaven mit einer darin eingebrachten Form;

Fig. 2 in einem Diagramm den Injektionsdruck, aufgetragen über der Injektionszeit;

Fig. 3 einen Querschnitt durch ein Leitungselement;

Fig. 4 einen Querschnitt durch eine einfache Schale;

Fig. 5 eine Draufsicht auf einen Tragflügel;

Fig. 6 einen Querschnitt längs der Linie VI-VI in Fig. 5; und

Fig. 7 isometrisch einen Kreuzungspunkt von Stringern und einem Rippenträger.

Die in Fig. 1 dargestellte Form 2 weist ein formbeständiges Formteil 4 und ein elastisch verformbar ausgebildetes Formteil 6 auf. Das Formteil 4 kann aus einem entsprechend der Kontur der äußeren Oberfläche eines zu fertigenden Bauelementes geformten Blech bestehen, das seine Formbeständigkeit durch Stützen oder Auflagen 8 erhält und weiter auch mit Rippen zur Erhöhung der Formstabilität versehen werden kann. Die der Formstabilität dienenden Mittel können angeklebt und durch Klebung untereinander verbunden sein, da sie nur geringe Kräfte aufzunehmen haben. Die Oberflächengüte dieses Formteils 4 bestimmt die Oberflächengüte des Bauelementes.

Das elastisch verformbare Formteil 6 und das formbeständige Formteil 4 sind an ihren Rändern miteinander vakuumdicht verbindbar. Dargestellt ist hier, daß das Formteil 6 das Formteil 4 über- und untergreift. Im Randbereich kann eine Dichtung durch einen Siegel- oder Klebestreifen erfolgen. Das Formteil 6 kann im einfachsten Fall eine entsprechend dem äußeren Umfang des elastischen Formteiles 6 zugeschnittene Folie sein, die auf der Oberfläche des Formteiles mit Siegel- oder Klebestreifen abgedichtet sein kann, wie beispielsweise in Fig. 4 dargestellt.

Für großflächige Strukturen wie Schalen von Flugzeugbauelementen, aber auch für Kraftfahrzeugkarosserieelemente wird normalerweise auf einer Außenseite der Fläche eine hohe Oberflächengüte verlangt. Diese Fläche ist dabei normalerweise ohne starke Kontursprünge. Wenn auch die Rückseite ohne Vorsprünge

ausgebildet ist, genügt als elastisch verformbares Formteil 6 eine glatte Folie entsprechender Festigkeit.

Das entsprechend den geforderten Festigkeitseigenschaften eines Bauelementes 9 ausgelegt Fasergelege kann als Fasergelegegarnitur 12 vorgefertigt werden. Es wird auf das formbeständige Formteil 4 aufgelegt und anschließend mit dem formbeständigen Formteil 6 abgedeckt, dessen freier Rand vakuumdicht mit dem formbeständigen Formteil 4 verbunden wird.

Bei dem Ausführungsbeispiel ist das Bauelement 9 mit in Abständen nebeneinander liegenden Versteifungsrippen 10 dargestellt. Im Bereich eines Vorsprunges, wie den dargestellten Rippen 10 oder auch von Kreuzungspunkten von Rippen kann das elastisch verformbare Formteil 6 mit einer entsprechend der Kontur einer solchen Rippe 10 oder Rippenkreuzung ausgebildeten Vertiefung vorgeformt sein. Solche vorgeformten Formelemente des Formteiles 6 können auch gesondert hergestellt werden und dann untereinander oder über Folienabschnitte oder sonstige Zwischenelemente verbunden, beispielsweise verklebt oder auch an-, auf- oder einvulkanisiert werden. Einzelheiten der Ausbildung solcher Formelemente werden unter Bezug auf die Fig. 5 bis 7 weiter unten beschrieben.

Bei Bauelementen 9 mit Vorsprüngen wie den dargestellten Rippen 10 kann es vorteilhaft sein, die Fasergelegegarnitur 12 auf dem verformbaren Formteil 6, in dem für die Vorsprünge vorgeformte Vertiefungen auszubilden sind, abzulegen. Es ist dann leichter, die für die Rippen 10 vorgesehenen Teile der Fasergelegegarnitur 12 in die entsprechenden Formvertiefungen einzuführen; auf die Fasergelegegarnitur 12 wird dann das Formteil 4 aufgelegt.

In der in Fig. 1 dargestellten Form 2 sind drei längliche Leitungselemente 3, 5 und 7 angeordnet, von denen die Leitungselemente 3 und 5 an eine Vakuumleitung 14 und das Leitungselement 7 an eine Injektionsleitung 16 anschließbar sind. Die vorbereitete Form wird in einen Druckbehälter 18 eingebracht, der in seiner Wandung mit Durchlässen oder Anschlüssen für die Vakuumleitung 14 und die Injektionsleitung 16 für das Harz versehen ist. Über die Vakuumleitung 14 wird der Formraum zwischen den Formteilen 4 und 6 evakuiert. Eine Evakuierung, evtl. Teilevakuierung, der Form 2 vor dem Einbringen der geschlossenen Form in den Druckbehälter 18 sichert die feste Anlage der Fasergelegegarnitur 12 und des Formteiles 6 an dem Formteil 4.

Nach dem Einbringen der Form 2 in den Druckbehälter 18 wird dieser geschlossen, in der Form das Endvakuum hergestellt, das kleiner als 50 hPa (vorzugsweise zwischen 10 und 1 hPa) sein soll, also einem technischen Vakuum entspricht. Im Druckraum 19 wird ein Druck  $p_u$  aufgebaut, der in der Größenordnung von 0,3 bis 1,0 MPa, vorzugsweise etwa 0,6 MPa, liegen sollte; ein  $p_u \approx \text{MPa} = 6.000 \text{ hPa} = 6 \text{ bar}$  entspricht damit dem zulässigen Innendruck von Großautoklaven, wie sie in der Luftfahrtindustrie eingesetzt werden. Nach Erreichen des Enddruckes, also dem vollständigen Evakuieren des Forminnenraums, wird über die Injektionsleitung 16 mit einem Druck  $p_i$ , der niedriger als der Außendruck  $p_u$  im Druckbehälter ist, in reaktives Harzgemisch eingespritzt, das die Form 2 vollständig füllt. Durch das an der Form liegende Vakuum ist die Form vollständig entlüftet, so daß bei Injizieren des Harzes die Bildung von Luftnestern vermieden wird. Die Vakuumleitung 14 sollte dabei zweckmäßig so angebracht sein, daß sie von der Fließfront des Harzes zuletzt erreicht wird.

In dem Vakuum kann an der freien Oberfläche der Fließfront, an der allein das Vakuum auf das Harz-Härter-Gemisch inwirkt, Härter ausgasen. Jedoch wird dies durch die verfahrensbedingte scharfe Abgrenzung zwischen dem Vakuumbereich und dem Überdruck im Harzfließbereich weitgehend vermieden. Die geringfügigen anfallenden Mengen werden über die Vakuumleitung abgeführt und ausgespült.

Allgemein gilt:

Bei dem Verfahren gemäß der Erfindung ist der Injektionsdruck  $p_i$  kleiner als der Außen- oder Umgebungsdruck  $p_u$  zu halten. Es gilt also

$$p_u > p_i$$

Der Faservolumengehalt ist eine Funktion des Druckunterschiedes  $dp = p_u - p_i$ . Die Beziehung zwischen dem Faservolumengehalt  $V_F$  und dem Druckunterschied  $dp$  läßt sich einfach aus der Steifigkeit der Fasergelegegarnitur 12 ermitteln. Zu diesem Zweck wird die Fasergelegegarnitur 12 zwischen zwei parallele Druckplatten eingelegt. Werden die Druckplatten zusammengefahren und damit die Fasergelegegarnitur 12 komprimiert, läßt sich die Dicke der Schicht als Funktion der Druckkraft ermitteln.

Es gilt

$$dp = F/(A_d) \text{ mit } dp \text{ (Pa), Kraft } F \text{ (N) und } A_d \text{ (m}^2\text{)}.$$

Aus dem Kompressionsmaß  $d_d$ , der Anzahl  $n$  der Gewebelagen, dem Flächengewicht  $F_F$  des Fasermaterials und der Dichte  $\rho$  der Faser läßt sich dann der Faservolumengehalt  $V_F$  des Bauelementes ermitteln entsprechend der Formel

$$V_F = F_F \cdot n / (\rho_F \cdot d_d) \text{ mit } F_F \text{ (kg/m}^2\text{), } \rho_F \text{ (kg/m}^3\text{) und } d_d \text{ (m)}.$$

Hieraus geht hervor, daß sich der Faservolumengehalt  $V_F$  als Funktion der Druckdifferenz  $dp$  zwischen Innendruck  $p_i$  und Außendruck  $p_u$  ergibt.

Für die Herstellung eines Faserverbundbauelementes läßt sich damit für den jeweils gewünschten Faservolumengehalt der nötige Druckunterschied  $dp$  ermitteln, der beim Einsetzen der Verfestigung des Harzes herrschen muß.

Der benötigte Druckunterschied  $dp$  ist unabhängig vom Außendruck einzuhalten. Daraus ergibt sich, daß durch Erhöhen des Außendruckes der Injektionsdruck  $p_i$  erhöht werden kann. Vom Injektionsdruck  $p_i$  ist die Bauteilfüllzeit abhängig. Sie ist um so kürzer je höher der Injektionsdruck ist, wie aus der folgenden Formel hervorgeht:

$$\frac{V}{A} = - \frac{K \Delta p}{\eta \Delta l}$$

V: Volumenstrom, A: durchströmte Fläche, K: Permeabilität,  $\eta$ : Viskosität,  $\Delta p$ : Druckunterschied und  $\Delta l$ : Abstand.

Die Permeabilität K der Faserlagen kann mittels Druckverlustmessung bestimmt werden.

Der Druckverlauf während einer Injektion ist in Fig. 2 in einem Diagramm dargestellt. Auf der Abszisse ist die Injektionszeit  $t$  und auf der Ordinate der Druck  $p$

aufgetragen. Der Umgebungsdruck  $p_0$  ist konstant und durch eine durchgezogene Linie wiedergegeben, der aktuelle Injektionsdruck dagegen durch eine strichlinierte Kurve.

Auf die Form wird der Außendruck  $p_0$  aufgebracht. Vom Zeitpunkt  $t_0$ , dem Beginn der Harzinjektion, bis zum Zeitpunkt  $t_1$  steigt der Druck in der Form 2 bis auf den Injektionsdruck  $p_{i1}$  an, der niedriger ist als der Außendruck  $p_0$ . Damit ist dann ein  $dp_1$  des Innendrucks  $p_{i1}$  gegenüber dem Außendruck  $p_0$  erreicht. Die Druckdifferenz  $dp_1$  ist so zu wählen, daß  $p_{i1}$  den Umgebungsdruck  $p_0$  nicht erreicht. Ein kleines  $dp_1$  führt dabei bei einem gegebenen  $p_0$  zu hohen Fließgeschwindigkeiten des injizierten Harzes und damit zu einer schnellen Füllung der Form. In Verbindung mit niedriger Viskosität  $\eta$  des Harzgemisches, die zu einer hohen Fließgeschwindigkeit beiträgt, kann damit ein hochreaktives Harzgemisch verwendet werden.

Zum Zeitpunkt  $t_2$  ist das Bauteil völlig mit Harz durchtränkt. Der Injektionsdruck kann dann auf einen Wert  $p_{i2}$  abgesenkt werden, der dem gewünschten Faservolumengehalt  $V_F$  entspricht, wie sich aus den einleitenden Ausführungen ergibt. Mit dem dadurch abgesenkten Differenzdruck  $dp_2$  härtet das injizierte Harz aus.

Bei konstant gehaltenem Druck  $p_{i2}$  kann der gewünschte Faservolumengehalt auch durch Erhöhung des Außendruckes  $p_0$  eingestellt werden.

Das Verfahren kann auch so durchgeführt werden, daß nach dem Füllen der Form der Injektionsdruck  $p_i$  und gleichzeitig der Außendruck  $p_0$  abgesenkt wird unter Aufrechterhaltung des  $dp_2$ , solange sich das Harzgemisch noch in der flüssigen Phase befindet.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel der Form 2 und des Bauelementes 9 wird bei der Konfektionierung der Fasergelegegarnitur 12 ein Faserstreifen für den Faserverbund der Rippe 10 auf das ebene Fasergelege aufgesetzt und auf dem ebenen Fasergelegeteil durch Nadeln, Nähen oder dergleichen befestigt. Entsprechend können auch mehrere übereinander liegende Faserlagen konfektioniert werden, um die Fasergelegegarnitur 12 zu bilden.

Die Faserverstärkung im Rippenbereich wird in den entsprechend vorgeformten Abschnitt des elastisch verformbaren Formteiles 6 eingeführt. Hilfsweise können hier beispielsweise metallische Winkelleisten 17 mit den Faserstreifen in die Vertiefung eingesetzt werden, die als zusätzliche, die Form stabilisierende Formelemente wirken. Solche Winkelleisten 17 können lose eingefügt werden, sie können auch fest mit dem elastischen Formteil 6 so verbunden sein, daß sie den Bewegungen des Formteiles folgen können.

Falls auf einem im wesentlichen ebenen Bauelement 9 oder einem Bauelement mit großen Krümmungsradien Rücksprünge, beispielsweise bei einer Karosserietür Griffmulden vorzusehen sind, kann auf der Oberfläche des formbeständigen Formteiles 4 ein entsprechendes Negativ einer solchen Mulde aufgeheftet, beispielsweise aufgeklebt werden. Die entsprechende Wandstärke stellt sich durch die elastische Verformbarkeit des gegenüberliegenden Formteiles 6 automatisch auf die Dicke in den übrigen Bereichen ein.

Aufgrund der im wesentlichen isostatischen Belastung wird auch von dem elastisch verformbaren Formteil 6 eine glatte Oberfläche des Bauelementes 9 erzeugt.

Die Fasergelegegarnitur 12 des Bauelementes 9 kann vor dem Einlegen in die Form 2 konfektioniert und trok-

ken in der Form abgelegt werden. Sie wird nach Schließen der Form durch den durch das Vakuum erzeugten Außendruck in ihrer Lage in der Form gehalten. Da vor Beginn der Injektion die Fasern mit dem vollen Außendruck  $p_0$  Druck komprimiert werden, sind die Fasern in der Form festgelegt, und es kommt beim Injizieren des Harzgemisches auch bei hohen Injektionsgeschwindigkeiten und bei der während des Zeitraumes  $t_0$  bis  $t_1$  zunächst geringen Permeabilität der Faserlagen und somit hohen Durchflußwiderständen nicht zu einer Faser-verschiebung in der Form 2. Durch Einstellen von  $dp_1$  ist ein Optimum zwischen einer hohen Fließgeschwindigkeit und ausreichender Faserfixierung zu finden.

Bei Verwendung eines Autoklaven als Druckbehälter 18 kann das Harzgemisch in der Form 2 durch die Temperaturwirkung beschleunigt ausgehärtet werden. Es ist auch möglich, das Harzgemisch vorgewärmt zu injizieren und damit gleichzeitig dessen die Fließgeschwindigkeit mitbestimmende Viskosität und die für die Aushärtung benötigte Zeitdauer herabzusetzen.

Es ist selbstverständlich auch möglich, das erfindungsgemäße Verfahren für die Herstellung dreidimensionaler Bauelemente 9 einzusetzen, bei denen die Faser auf einem formgebenden, vorzugsweise geschlossenporigen Schaumstoffkern angeordnet ist.

Der formbeständige Formteil 4 kann wie gesagt aus einem Blech bestehen. Bei komplexeren Strukturen kann dieser Teil aber auch aus einem faserverstärkten Kunststoff gebildet werden, der beispielsweise auf einem Muster des Bauelementes — Werkstückes — abgeformt wird.

Bei großflächigen Bauelementen 9, insbesondere auch solchen mit großer Längserstreckung, kann das formstabile Formteil 4 auch aus einer Mehrzahl von Einzelelementen zusammengesetzt sein, die nebeneinander auf ein Stützgerüst befestigt werden. Die Verbindungen sind dabei im wesentlichen nur durch das Gewicht von Form 2 und Bauelement 9 belastet, deshalb genügen einfache Klebverbindungen. Stöße der formgebenden Formteile 4 können dabei in einfacher Weise durch Siegel- oder Klebebänder abgedichtet werden.

Das elastisch verformbare Formteil 6, das im allgemeinen die komplexen Strukturen des Bauelementes 9 abbildet, kann aus einem elastopolymernen Werkstoff bestehen, vorzugsweise einem Werkstoff, der durch das Harzgemisch nicht benetzbar ist, beispielsweise Silikon-gummi. Bereich komplexerer Struktur, beispielsweise Rippen und Stringer, insbesondere auch Kreuzungspunkte von Vorsprüngen, können dabei als gesonderte Formelemente hergestellt und dann mit ebenen Folien oder elastischen Platten aus entsprechenden Elastomeren, verbunden, beispielsweise an diese anvulkanisiert werden. Damit ist eine kostengünstige Herstellung des elastischen Formteiles 6 auch für die Fertigung komplex strukturierter Bauelemente möglich.

Wesentlich für das erfindungsgemäße Verfahren ist die Ausbildung der in Fig. 1 dargestellten Leitungselemente 3, 5 und 7. Diese sind untereinander ähnlich ausgebildet. Ein solches Leitungselement — hier und im folgenden mit dem Bezugszeichen 20 versehen — ist in Fig. 3 im Querschnitt dargestellt. Das Leitungselement 20 b sitzt eine breitflächige Auflagefläche 22. Oberhalb der Auflagefläche 22 ist ein sich in Längsrichtung des Leitungselements erstreckender Hohlraum 24 ausgebildet, der über einem schmalen Schlitz 26 mit der Auflagefläche 22 in Verbindung steht. Dieser Schlitz 26 hat vorzugsweise eine Breite  $b$  in der Größenordnung von 1 mm. Der Durchmesser  $r$  D des Hohlraumes 24 kann in

einer Größenordnung zwischen 8 und 10 mm liegen. Der Rücken des Leitungselementes 20 weist zwei Schultern 28 mit geringem Steigungswinkel gegen die Auflagefläche 22 auf. Die beiden Schultern 28 gehen in einen gerundeten Abschnitt 30 über dem Hohlraum 24 über.

Das Leitungselement 20 besteht aus einem elastischen Material, vorzugsweise Silicongummi. Es kann sich daher unter dem Druck  $p_1$  an die Oberfläche der Fasergelegegarnitur 12 anpassen und sich auch in Längsrichtung verdrehen. Es kann auch in Querrichtung gebogen werden. Um den Querschnitt des Hohlraumes 24 zu erhalten, ist in diesem zweckmäßig eine lose gegen die Wandung des Hohlraumes 24 anliegende Drahtwendel 31 als Stützelement vorgesehen, die durch einfaches Aufbiegen der Leitungselemente 20 in den Hohlraum 24 einführbar und auch aus dem Hohlraum herausnehmbar ist.

Das Leitungselement 20 hat eine große Längsstreckung und wenigstens zwei Leitungselemente werden in die Form 2 so eingelegt, daß sie sich in die gleiche Richtung erstrecken und voneinander möglichst gleichmäßige bzw. sich über die Länge nicht sehr wesentlich ändernde Abstände haben. Sie sollen sich soweit möglich in Richtung der größten Längserstreckung der Form erstrecken.

In Fig. 4 ist eine solche Anordnung schematisch dargestellt. Auf dem formbeständigen Formteil 4, dessen größte Längserstreckung senkrecht zur Zeichnungsebene angenommen sei, liegt die Fasergelegegarnitur 12 auf, das hier als ebenes Fasergelege dargestellt ist. An den Rändern der Fasergelegegarnitur 12, und zwar vorzugsweise an den Rändern mit der größten Längserstreckung, ist auf diese Fasergelegegarnitur 12 jeweils ein Leitungselement 20 aufgesetzt, das mit seiner Auflagefläche 22 auf der Oberseite der Fasergelegegarnitur 12 aufliegt. Die Fasergelegegarnitur 12 und die Leitungselemente 20 sind mit dem elastischen Formteil 6 abgedeckt. Die Leitungselemente 20 sind vorzugsweise an einem Ende zwischen dem formbeständigen Formteil 4 und dem elastischen Formteil 6 hindurch gegen diese abgedichtet nach außen geführt.

Bei der Form nach Fig. 4 ist das rechte Leitungselement 20 mit einer das Vakuum erzeugenden Drucksenke (Vakuundleitung 14) verbunden, während das linke Leitungselement an die Injektionsleitung 16 angeschlossen ist.

Nach Herstellung des technischen Vakuums in der Form 2 wird das Harz unter einem Druck  $p_1$  injiziert, der um  $dp_1$  niedriger ist als der Außendruck  $p_a$ . Das Harz strömt dann durch die Fasergelegegarnitur 12 entsprechend eingezeichneten Pfeilen und füllt dabei aufgrund des technischen Vakuums, das in der Form herrscht, die gesamte Form 2, ohne daß es zu Luft einschüssen kommt. Aufgrund des Vakuums im Forminneren werden auch Fasereinlagen, die für die Bildung der in Fig. 1 dargestellten rippenartigen Vorsprünge (Rippen 10) vorgesehen sind, problemlos durchtränkt, ebenso die Bereiche der Fasergelegegarnitur 12, die zwischen dem Schlitz 26 der Leitungselemente 20 und dem dazu in Abstand liegenden Rand der Fasergelegegarnitur 12 liegen.

Die Zahl der zueinander parallelen oder sich in gleiche Richtung erstreckenden Leitungselemente wird 20 entsprechend den jeweiligen Anforderungen festgelegt. So könnte beispielsweise bei einem breiteren Bauelement 9 rechts von dem an das Vakuum angeschlossenen Leitungselement in gleichem Abstand wie das linke Lei-

tungselement ein weiteres an die Injektionsleitung 16 angeschlossenes Leitungselement vorgesehen werden. Wesentlich ist, daß sich jeweils die Injektionsleitungen 16 mit Vakuundleitungen 14 abwechseln, um eine Querströmung zwischen den Leitungselementen sicherzustellen. Der Abstand der Vakuundleitungen 14 von den Injektionsleitungen 16 bestimmt u. a. die Füllzeit der Form 2.

In Fig. 5 ist in Draufsicht eine Tragflügelstruktur 32 dargestellt mit sich in Flügellängsrichtung erstreckenden Stringern 34 und quer dazu liegenden Rippenträgern 36. Eine solche Tragflügelstruktur kann eine große Länge haben, wobei Längen bis 50 m denkbar sind. Die Größe solcher Tragflügelstrukturen ist im wesentlichen nur durch die Größe der verfügbaren Autoklaven begrenzt.

Auch für Längserstreckungen der Bauelemente in der genannten Größe sind Leitungselemente 20, wie sie oben unter Bezug auf Fig. 3 beschrieben sind, also mit Hohlraumdurchmessern von 8 bis 10 mm, ausreichend, da der Strömungswiderstand in dem Hohlraum 24 wesentlich geringer ist, als der Strömungswiderstand der Fasergelegegarnitur 12 und damit quer zu benachbarten Fasergelegen. Es ist daher möglich, auch bei großen Längen eine gleichmäßige Injektion des Harzes über die gesamte Länge des Bauelementes 9 sicherzustellen.

Bei Tragflügelementen, wie sie in Fig. 5 dargestellt sind, sind die Stringer 34 in im wesentlichen gleichmäßigen bzw. sich nur geringfügig ändernden Abständen vorgesehen, wenn die Stringer bei sich stetig zur Flügelspitze hin verringernder Tiefe des Flügelprofils über die Flügelementerestreckung wie in Fig. 5 dargestellt konvergieren. Zwischen den Stringern 34 sind abwechselnd Injektionsleitungen 16 und Vakuundleitungen 14 angeordnet, die beispielsweise an der Flügelwurzel 39 aus der Form herausgeführt sind. Bei sehr langen Bauelementen können beide Enden hier also auch an der Flügelspitze der Leitungselemente aus der Form herausgeführt und an eine Harzquelle bzw. Drucksenke angeschlossen sein.

In Fig. 6 ist ein Schnitt durch eine Form zur Herstellung der Flügelstruktur nach Fig. 5 — Schnitt VI — VI in Fig. 5 — wiedergegeben. Auf dem die äußere Oberfläche und Form des Tragflügelementes bestimmenden formstabilen Formteil 4 liegt die Torsionsschale bildende Faserlage 40 auf, auf dieser Faserlage 40 liegen Bündel 38 aus sich in Längsrichtung des Flügels erstreckenden unidirektionalen Fasern auf, die als unidirektionale Steifigkeiten über eine auf der Faserlage 40 gegenüberliegenden Oberfläche der Bündel 38 aufliegende Faserlagenabdeckung 42 in die Struktur des Tragflügelementes schubsteif eingebunden sind.

Das elastische Formteil 6 ist hier aus vorgeformten Formelementen 44 zusammengesetzt, die so geformt sind, daß sie die innere Oberfläche der Flügelschale und die Flächen der Stringer 34 und der Rippenträger 36 abbilden. In der Zeichnung ist diese Abbildung beginnend mit der Stirnseite der abgewinkelten Schenkel 35 eines Stringers 34 bis über die Oberfläche des Schenkels 35 zur Stirnseite dieses Schenkels 35 beim benachbarten Stringer 34 dargestellt.

Etwa in der Mitte sind die Formelemente 44 in der den Faserlagen zugewandten Fläche mit Vertiefungen 46 versehen, die sich in Längsrichtung erstrecken und mit denen die Leitungselemente 20 übergriffen werden, deren Querschnitt sie entsprechen. Die Formelemente 44 sind jeweils an ihren Rändern 48 vakuumdicht miteinander zu verbinden. Zur Erzielung einer sicheren Ab-



dichtung können sich die Formelemente 44 an diesen Rändern überlappen und nach Art von Nut und Feder 49 miteinander verknüpft werden, wie beim mittleren Stringer beispielsweise veranschaulicht. Diese Verbindung ist zweckmäßig lösbar ausgebildet, damit zum Entformen die einzelnen Formelemente nacheinander herausgenommen werden können. Nach Entnahme der Formelemente 44 wird dann das Leitungselement herausgenommen. Dieses kann dabei von der Oberfläche des Bauelementes 9 durch Abbiegen abgezogen werden, wobei das ausgehärtete Harz im Bereich der Mündung des Schlitzes 26 in der Auflagefläche 22 abbricht.

In Fig. 6 sind mit ihren Umrißlinien Querwände 50 an den einzelnen Formelementen angedeutet. Mit diesen Querwänden 50 werden die Rippenträger 36 abgebildet, wie in Fig. 7 schematisch dargestellt. Die Abbildung der Rippenträger erfolgt jeweils zwischen zwei an benachbarte Formelemente angeformte Querwände 50, die mit den beschriebenen Formelementen 44 aus einem Stück bestehen können. Diese Wandungen sind an ihrer, den Fasergelegen 38, 40, 42 zugewandten Oberfläche ebenfalls mit einer der Kontur der Leitungselemente versehenen Ausnehmung versehen, so daß die Leitungselemente durch diese Querwände hindurch geführt werden können. Auf diese Weise werden nach dem Herausnehmen der Leitungselemente Verbindungen durch die Rippenträger hindurch erzeugt, wie sie beispielsweise im Tankbereich "nasser" Tragflügel erforderlich sind. Zusätzlich können am Fuß der Stringer 34 Durchlässe 52 vorgesehen werden. Die in Fig. 6 dargestellten Leitungselemente sind jeweils abwechselnd an die das Vakuum erzeugende Drucksenke (Vakuumleitung 14) und die Injektionsleitung 16 für das Harz anzuschließen. Der Harzfluß erfolgt damit quer zu den Stringern, wobei auch bei Faserlagen größerer Dicke, wie sie bei Anordnung der unidirektionalen Steifigkeiten (Bündel 38) vorliegen, eine vollständige Durchtränkung einschließlich der Stringer 34 und der Querwände 50 sichergestellt ist.

Bei einer Vielzahl von Formelementen der vorstehend beschriebenen Art, bei der im elastischen Formteil 6 sehr große Abdichtungslängen vorliegen, besteht das Risiko, daß vereinzelt Undichtigkeiten auftreten können, durch die Außenluft angesaugt werden kann, die das Bauelement 9 zu Ausschluß machen kann. Dem kann vorgebeugt werden durch eine elastische Abdeckung des elastischen Formteils 6 und Evakuierung des Zwischenraums zwischen der Oberfläche des elastischen Formteils 6 und der zusätzlich vorgesehenen elastischen Abdeckung. Zur Luftführung werden im Zwischenraum luftführende Materialien vorgesehen, beispielsweise Fasergewebe- oder -gelegeschichten oder Dochte aus Fasermaterial.

#### Bezugszeichenliste

02 Form  
03 Leitungselement  
04 Formteil  
05 Leitungselement  
06 Formteil (elastisch)  
07 Leitungselement  
08 Auflagen  
09 Bauelement  
10 Rippen  
12 Fasergeleg garnitur  
14 Vakuumleitung  
16 Injektionsleitung  
17 Winkelleisten

18 Druckbehälter  
19 Druckraum  
20 Leitungselement  
22 Auflagefläche  
24 Hohlraum  
26 Schlitz  
28 Schultern  
30 Abschnitt (gerundeter)  
31 Drahtwendel  
32 Tragflügelstruktur  
34 Stringer  
36 Rippenträger  
38 Bündel  
39 Flügelwurzel  
40 Faserlage  
42 Faserlagenabdeckung  
44 Formelemente  
46 Vertiefung  
48 Ränder  
49 Nut und Feder  
50 Querwände  
52 Durchlässe

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Herstellung von großflächigen Bauelementen (9) aus Faserverbundwerkstoffen durch Injektion eines Harzgemisches in eine Form (2) mit zusammenwirkenden Formteilen, zwischen die vorgeformte Fasergelegegarnituren (12) eingelegt sind, von denen das eine Formteil (6) elastisch verformbar und das andere Formteil (4) formbeständig ausgebildet ist und die beiden Formteile (4, 6) an ihren Rändern vakuumdicht verbindbar sind, die Form (2) mit Anschlüssen für Mittel zur Injektion des Harzgemisches und eine Drucksenke zum Absenken des Innendruckes des Formraumes unter den Atmosphärendruck versehen ist, bei dem auf die geschlossene Form (2) in einem Druckbehälter (18) allseitig ein über dem Atmosphärendruck liegender Außendruck ( $p_a$ ) aufgebracht wird, und in die Form (2) das Harzgemisch mit einem Druck injiziert und bis zum Aushärten auf einem Druck gehalten wird, der um eine den Faservolumengehalt ( $V_f$ ) des Bauelementes (9) bestimmende Differenz niedriger ist als der auf die Form (2) wirkende Außendruck ( $p_a$ ), dadurch gekennzeichnet, daß für die Injektion des Harzgemisches und den Anschluß an die Drucksenke auf der dem formbeständigen Formteil (4) gegenüberliegenden Oberfläche der Fasergelegegarnitur (12) aufliegende Leitungselemente (3, 5, 7, 14, 16, 20) vorgesehen sind, die eine große Längserstreckung und eine breitflächige Auflagefläche (22) haben, oberhalb der Auflagefläche (22) mit einem sich in Längsrichtung der Leitungselemente erstreckenden Hohlraum (24) versehen sind und in der Auflagefläche (22) mit einem sich im wesentlichen über die gesamte Länge des Leitungselementes erstreckenden schmalen Schlitz (26) versehen sind, der über seine Länge mit dem Hohlraum (24) verbunden ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Hohlraum (24) der Leitungselemente lose eine gegen die Wandung des Hohlraumes (24) anliegende Drahtwendel (31) als Stützelement angeordnet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitungselemente mit we-

nigstens einem Ende zwischen den Rändern des elastisch verformbaren Formelementes (6) und des formstabilen Formteiles (4) hindurchgeführt und mit der Harzzuleitung bzw. der Drucksenke verbunden sind.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Abstand voneinander eine Mehrzahl von Leitungselementen angeordnet ist, die abwechselnd an die Drucksenke und die Mittel zur Injektion des Harzgemisches angeschlossen sind.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Form (2) für die Herstellung von langen Bauelementen (9) mit auf einer Oberfläche angeordneten und sich in Längsrichtung des Bauteiles erstreckenden rippenartigen Vorsprüngen (Rippen 10) die Leitungselemente im wesentlichen parallel zu den Rippen (10) angeordnet sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß in dem elastisch verformbaren Formteil (4) die Rippen (10) des Bauelementes (9) als abbildende Formvertiefungen ausgebildet sind und daß die Fasergelegegarnituren (12) mit Verstärkungstreifen für die Rippen (10) versehen ist, die in die Formvertiefungen eingreifen und mit der Fasergelegegarnitur (12) verbunden sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das elastisch verformbare Formteil (6) mit in die Formvertiefungen eingreifenden Winkelleisten (17) versehen ist, deren Formbeständigkeit größer ist als die des elastisch verformbaren Formteils (6).

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß quer zu den sich längs erstreckenden Rippen (10) weitere diese kreuzende rippenartige Vorsprünge vorgesehen sind und daß die Leitungselemente am Fuß dieser weiteren Vorsprünge durch diese hindurchgeführt sind.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitungselemente unter dem elastisch verformbaren Formteil (6) angeordnet sind.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der an die Leitungselemente angeschlossenen Verbindungsleitung zur Drucksenke Schwimmentile vorgesehen sind, die zur Drucksenke hin schließen.

11. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Druckbehälter (18) ein beheizbarer Autoklav verwendet wird.

12. Verfahren zur Herstellung von großflächigen Bauelementen (9) aus Faserverbundwerkstoffen durch Injektion eines Harzgemisches in eine Form (2) mit zusammenwirkenden Formteilen, zwischen die vorgeformte Fasergelegegarnituren (12) eingelegt sind, von denen das eine Formteil (6) elastisch verformbar und das andere Formteil (4) formbeständig ausgebildet ist und die beiden Formteile (4, 6) an ihren Rändern vakuumdicht verbindbar sind, die Form (2) mit Anschlüssen für Mittel zur Injektion des Harzgemisches und eine Drucksenke zum Absenken des Innendruckes des Formraumes unter den Atmosphärendruck versehen ist, bei dem auf die geschlossene Form (2) in einem Druckbehälter (18) allseitig ein über dem Atmosphärendruck liegender Außendruck ( $p_a$ ) aufgebracht wird, und in

die Form (2) das Harzgemisch mit einem Druck injiziert und bis zum Aushärten auf einem Druck gehalten wird, der um eine den Faservolumengehalt ( $V_F$ ) des Bauelementes (9) bestimmende Differenz niedriger ist als der auf die Form (2) wirkende Außendruck ( $p_a$ ), dadurch gekennzeichnet, daß das Harzgemisch auf der dem formbeständigen Formteil (4) gegenüberliegenden Oberfläche der Fasergelegegarnitur (12) mittels eines Linienangusses aus einem längerstreckten Schlitz (26) in einem Leitungselement injiziert wird und durch einen längerstreckten Schlitz (26) in einem anderen Leitungselement ein Anschluß an die Drucksenke gegeben ist.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Innendruck ( $p_i$ ) der Form (2) auf einen Druck kleiner als 50 hPa abgesenkt wird während der Injektion des Harzgemisches gehalten wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Innendruck ( $p_i$ ) auf einen Druck kleiner als 1 hPa abgesenkt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Injektionsdruck während eines ersten Zeitabschnittes größer als der den Faservolumengehalt des Bauelementes (9) bestimmende Innendruck ( $p_i$ ) gewählt wird, und

daß nach vollständiger Tränkung der Fasergelegegarnitur (12) mit dem injizierten Harzgemisch durch Einstellung des Außendruckes ( $p_a$ ) und/oder des Innendruckes ( $p_i$ ) der den Faservolumengehalt ( $V_F$ ) bestimmende Innendruck eingestellt und bis zum Aushärten des Harzgemisches gehalten wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Außendruck etwa 0,6 MPa beträgt.

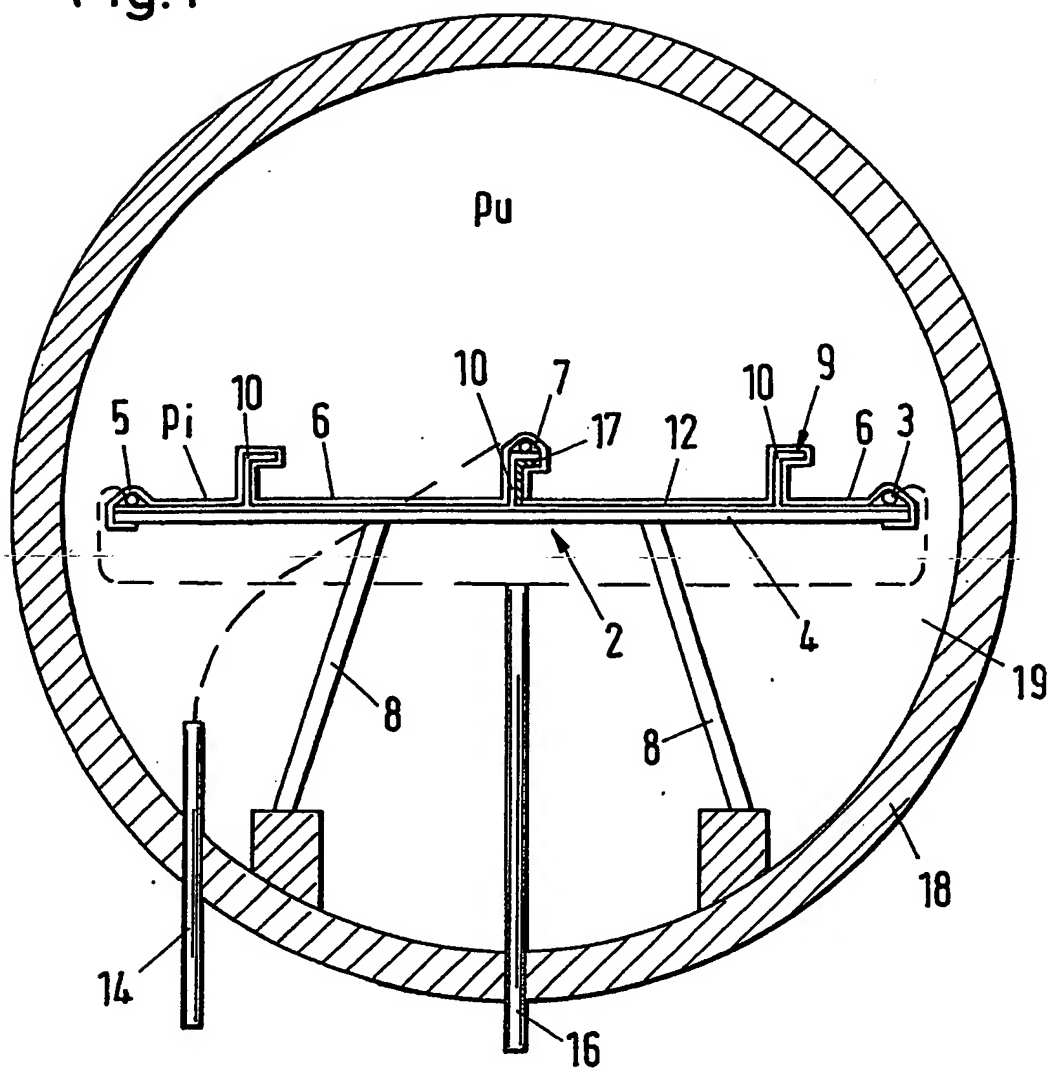
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß auf das elastische Formteil (6) eine luftführende Schicht aufgebracht, diese luftdicht abgedeckt und der die luftführende Schicht enthaltende Zwischenraum evakuiert wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen



- L rs ite -

Fig.1



**Fig. 2**

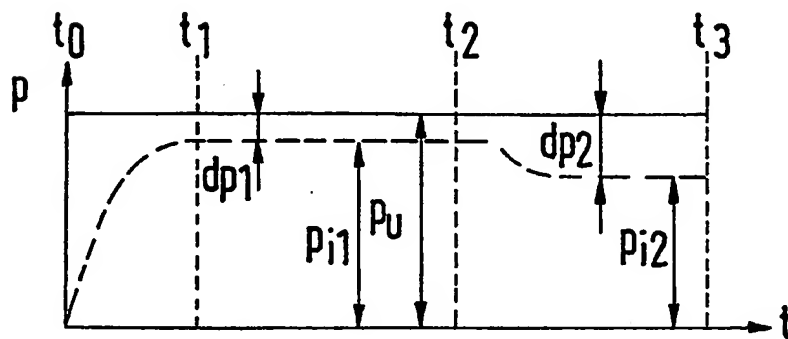


Fig. 3

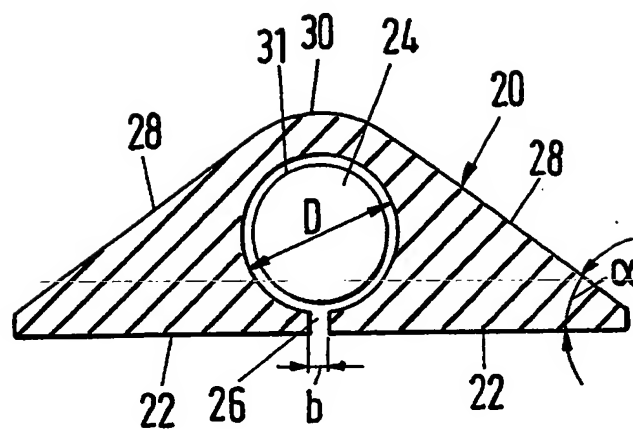
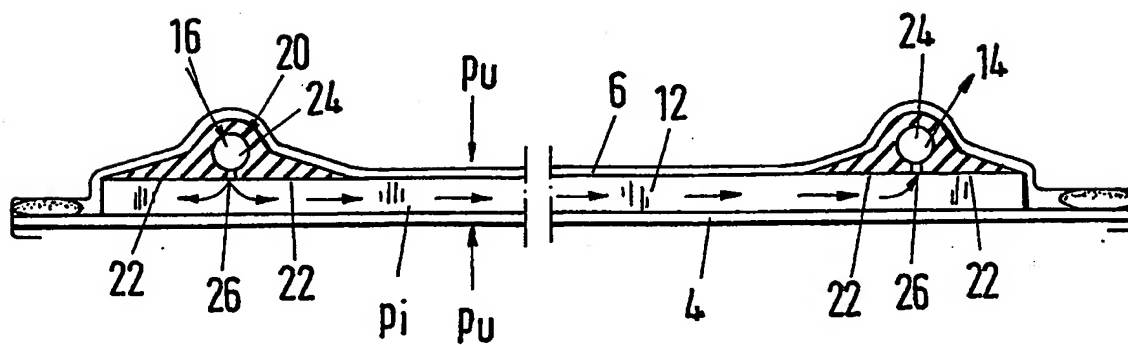


Fig. 4



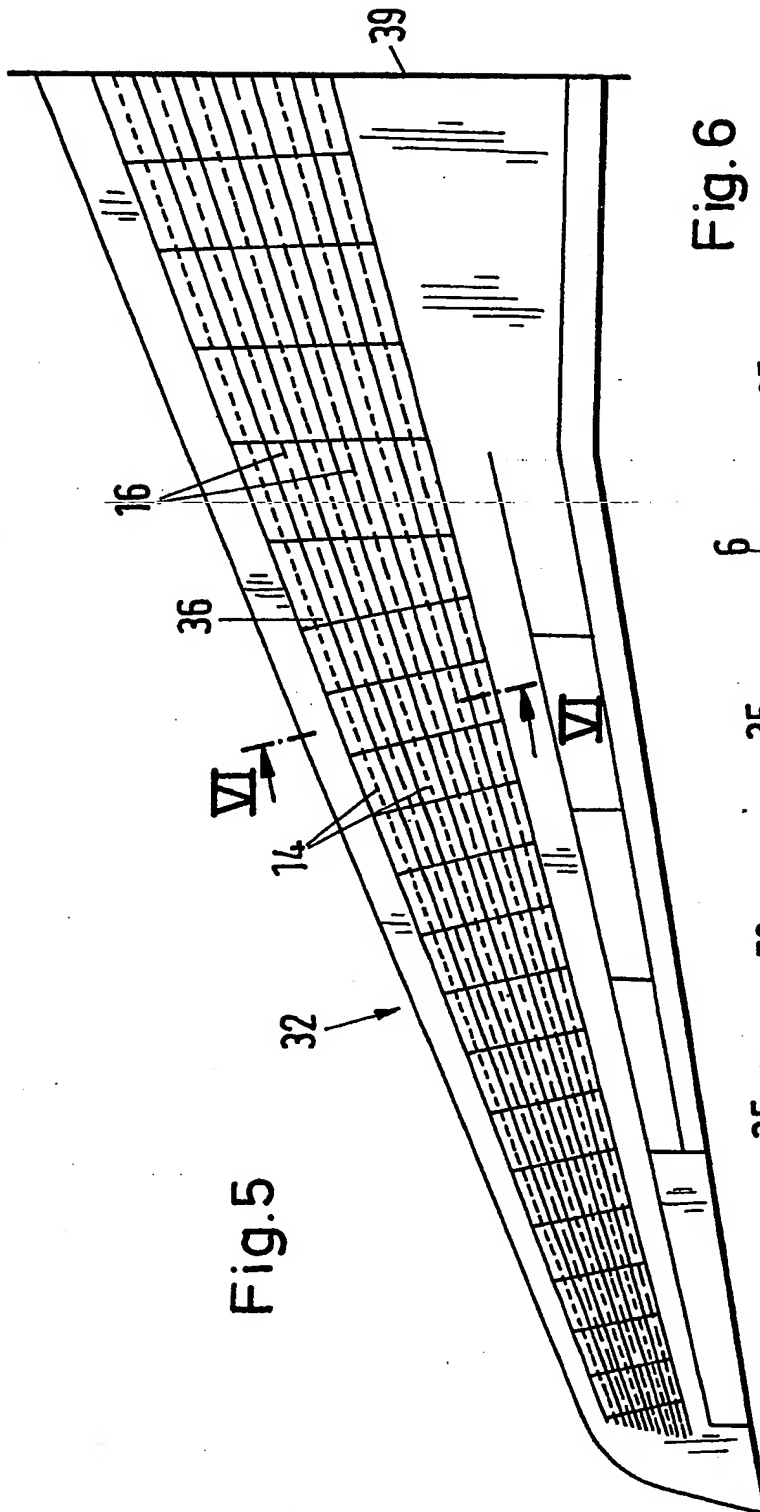


Fig. 6

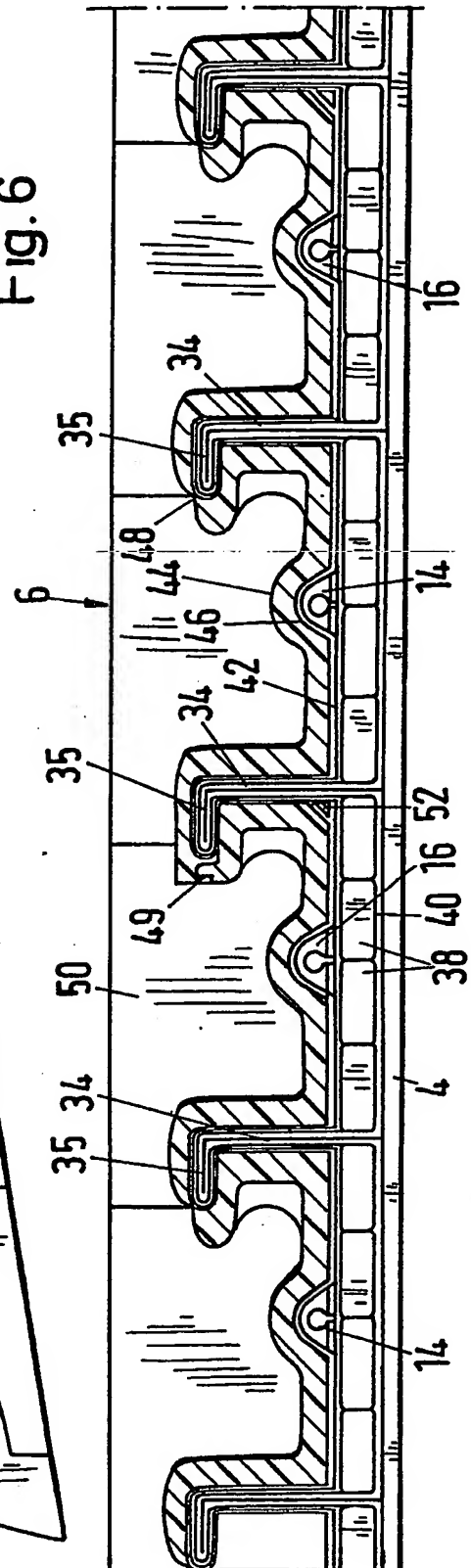


Fig. 7

